



libro 2

ÓPTICA, ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

ÓPTICA GEOMÉTRICA.

La luz como rayo.

Determinación de los puntos ciegos de un automóvil	28
Fusión de imágenes en un vidrio	29
Opciones múltiples con variantes absurdas	29
Telemetría por haces convergentes	29
Rejas de protección en parabrisas	30
Cámara de Gesell	30
Destellos para fotografía a distancia	30

ÓPTICA FÍSICA.

La luz como onda.

El láser como máser óptico	31
----------------------------	----

ELECTROSTÁTICA.

Electricidad en reposo.

¿Circuitos eléctricos en electrostática?	32
Falta de rigor en una fórmula	32
El campo es la derivada del potencial	32
Observaciones experimentales ocasionales	32
Paradoja del capacitor	33

CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

Electricidad en movimiento	33
----------------------------	----

MAGNETISMO.

Corrientes en interacción.

Brújulas improvisadas	33
Comprensión de la lectura	34
Campo magnético de un conductor recto e infinito	34

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Efectos eléctricos de los campos magnéticos	35
---	----

ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

El microcosmos

La superada dualidad onda-partícula	35
Aplicaciones bélicas de la energía nuclear	35
Otra unidad de dosis de radiación	36
Fusión nuclear	36
Quarks	36

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO.

El macrocosmos

Universo jerárquico de Mandelbrot	37
-----------------------------------	----

ÓPTICA GEOMÉTRICA.

La luz como rayo.

Una de las dificultades mayores en el estudio de la óptica geométrica es la construcción de la idea de rayo luminoso. A nosotros nos parece sencilla porque ya la tenemos adquirida, pero consideremos, solamente, el hecho de que nadie vio jamás un rayo de luz de costado: para poder ver un rayo de luz, es necesario que penetre en el ojo, y eso ocurre solamente si vemos el rayo de punta y no de lado como se lo representa en las figuras.

Comprobamos las dificultades de los alumnos en la representación de marchas de rayos en lentes y espejos, pero también en destrezas menores como la ubicación experimental de la imagen de un objeto en un espejo plano, o el trazado del rayo refractado que atraviesa un prisma.

Hemos encontrado que una actividad que ayuda a resolver esa dificultad es la de revelar el rayo de un puntero láser en el ambiente polvoriento que se consigue al borrar un pizarrón. (Es necesario explicar que lo que vemos no es la parte principal del haz luminoso, sino multitud de rayos difundidos lateralmente por las partículas de polvo.)

El simple trazado del rayo refractado en un prisma triangular con la ayuda de un papel y alfileres, pone en evidencia la gran distancia que existe entre comprender el esquema teórico y conseguir una alineación visual; los estudiantes comprenden el esquema teórico, pero no consiguen ubicar el ojo en el lugar correcto, ni saben qué es lo que esperan ver.

Hemos oído y leído juicios negativos sobre la óptica geométrica (cuando se la compara con la ondulatoria) del mismo tenor que los que pretenden descalificar a veces la mecánica clásica en favor de la cuántica. Pero no hay una verdadera razón para renunciar a las aproximaciones clásicas que proporcionan esas importantes ramas de la física, del mismo modo en que no se tiene en cuenta la redondez de la Tierra cuando se edifica en un pequeño lote, sin que eso signifique retroceder miles de años en el conocimiento.

La vida cotidiana se encuentra plena de aplicaciones clásicas de la óptica. Por ejemplo, podemos proponer a los estudiantes que determinen el llamado *punto ciego* de un automóvil, que se encuentra ubicado atrás y a la derecha; muchos accidentes de tránsito entre camiones y coches ocurren cuando el camión dobla a la derecha y choca contra un automóvil algo rezagado. Sugerimos presentar de la manera que sigue esa actividad, de la que acompañamos nuestra respuesta.

Actividad: Determinación de los puntos ciegos de un automóvil

Cuando manejamos un coche, tomamos la precaución de mirar por los espejos retrovisores antes de hacer un viraje (sobre todo si debe ser rápido), para que no nos choque el vehículo que viene detrás. Pero hay zonas que no se pueden ver, ni directamente ni por los espejos; son los llamados *puntos ciegos* del vehículo. Un conductor avezado siempre supone que hay coches en los puntos ciegos, y no realiza maniobras que pondrían en grave riesgo vidas humanas y bienes materiales si, como sospecha, hay un vehículo realmente en ellos. A la vez, trata de no ponerse en el punto ciego de los demás coches, para evitar la colisión cuando sus conductores doblen sin cuidado.

Tomen un transportador de ángulos (o un papel con un círculo dividido en sectores de 5 ó 10 grados), siéntense al volante de un coche y dividan el círculo en sectores marcados con colores, rayados o letras que identifiquen cada dirección con una o más de las siguientes características:

a) Se puede ver directamente a los objetos (vehículos, obstáculos, personas) que se encuentran en esa dirección, sin girar mucho la cabeza.

b) Se los puede ver por medio del espejo retrovisor central del interior del vehículo.

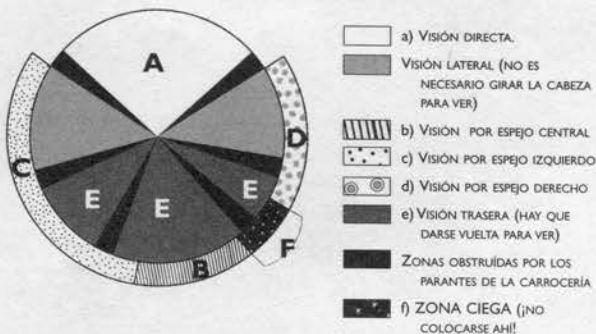
c) Se los puede ver por medio del espejo lateral izquierdo.

d) Se los puede ver por medio del espejo lateral derecho.

e) Se los puede ver directamente, pero sólo si se gira mucho la cabeza (zona ciega amplia).

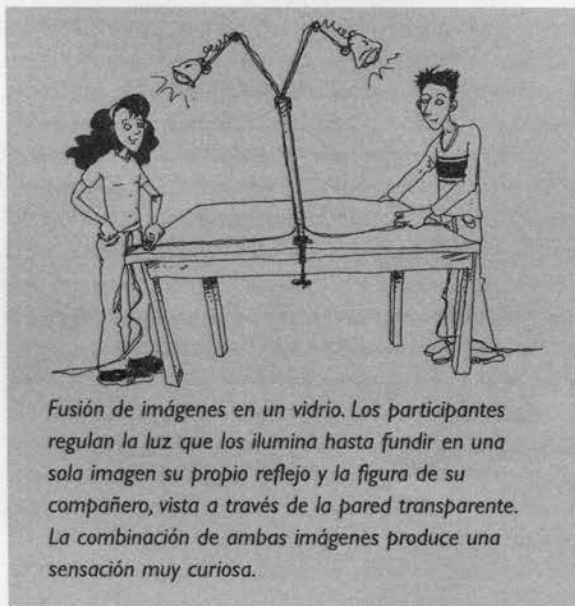
f) No se puede ver nada de lo que hay en esa dirección, porque lo tapa alguno de los seis parantes del techo y no entran en el campo de los espejos (zona ciega estricta).

Con el permiso del conductor, regulen los espejos retrovisores para reducir al mínimo la extensión angular de las zonas ciegas.



Fusión de imágenes en un vidrio

Ésta es una actividad que pone en juego conceptos de la óptica geométrica, y suele interesar (por su componente psicológico y artístico) a alumnos que no tienen predilección especial por la física. Se puede hacer un montaje especial al estilo de una feria de ciencias, o improvisarla con un par de lámparas de ambos lados de una ventana de vidrio que separe dos ambientes de iluminación semejante (hemos tomado la idea de museos participativos de ciencias). Se trata de un vidrio o acrílico vertical que sirve para verse como en un espejo, y también para mirar a través de él. Se ubican dos participantes uno frente al otro, separados por el cristal e iluminados por respectivas lámparas cuya intensidad puede manejar cada uno con una perilla. (En las casas de electricidad venden esos mandos, que se conocen como atenuadores de luz, o *dimmers*). Con pequeñas correcciones de la posición de sus cuerpos los participantes procuran hacer coincidir la propia imagen con la figura de su compañero de juegos; logrado esto, manejan la intensidad de la luz hasta que ambas imágenes estén —en su percepción subjetiva— igualmente iluminadas. Durante un breve intervalo, no saben si se están viendo a sí mismos o a sus compañeros, pues los rasgos se combinan y desdibujan, en un complejo fenómeno de superposición óptica y psicológica.



Fusión de imágenes en un vidrio. Los participantes regulan la luz que los ilumina hasta fundir en una sola imagen su propio reflejo y la figura de su compañero, vista a través de la pared transparente. La combinación de ambas imágenes produce una sensación muy curiosa.

Opciones múltiples con variantes absurdas

Hallamos a veces que es útil que la primera clase de un nuevo tema comience por preguntas y no por la exposición llana de los conceptos; eso sue-

le movilizar la atención. Si preguntamos por qué las ambulancias suelen tener escrita al revés la palabra AMBULANCIA en su frente, naturalmente casi todos responderán acertadamente que la razón es leer esa palabra al derecho por reflejo en el espejo retrovisor. Pero es interesante no preguntar al conjunto, sino ofrecer, por ejemplo, las siguientes alternativas a cada alumno (entre las que hay algunas verdaderamente ridículas):

a) Es una técnica para llamar la atención con fines publicitarios que emplean algunas clínicas privadas. Esa práctica se encuentra prohibida en otros países.

b) Se trata de un truco para eludir un impuesto adicional que pagan las empresas dueñas de ambulancias cuando explicitan la función del vehículo con un letrero de cierto tamaño; al escribirlo al revés, burlan esa disposición.

c) Para que la lean inmediatamente por el espejo los conductores de los vehículos que marchan delante, y le dejen paso.

d) Es una práctica cuyo origen se remonta a una antigua superstición por la cual si se reza o se habla al revés ante un enfermo grave, se consigue detener el curso del tiempo.

e) Porque unos investigadores del Medio Oriente han demostrado que en casos de emergencia es más rápida la lectura de derecha a izquierda, que la habitual en nuestro idioma de izquierda a derecha.

Nos sorprenderá encontrar dos o tres alumnos que, si no consultan a sus compañeros, eligen alguna de las opciones absurdas. ¿Boicot? ¿Falta de atención? ¿Aburrimiento, indisciplina? Nada de eso; pueden haber dado de buena fe la respuesta errada. Y nos asombrará hallar que alguno de ellos, además, ignoraba esa práctica de pintar letreros al revés para su mejor lectura en espejos.

Telemetría por haces convergentes

En la Segunda Guerra Mundial los aliados realizaban bombardeos nocturnos a las represas alemanas, y los explosivos debían estallar en la línea de nivel del agua, pues debajo no podían hacerlo porque el agua amortiguaba el golpe de la espoleta, y arriba los daños no surtían el efecto deseado. Lo lograban mediante el lanzamiento de las bombas a ras del agua, que rebotaban entonces como tejos hasta dar contra la muralla de hormigón y estallar. Con el instrumental de la época no era fácil volar a tan baja altura en la oscuridad, pues el tipo de altímetro usado modificaba su indicación con las variaciones de la presión atmosférica y no daba una lectura segura de la altitud; empleaban un sistema óptico de dos reflectores de distinto color, de

haces cruzados y hacia abajo, uno en el extremo de cada ala: cuando ambas manchas se fundían en una, la altura de vuelo era la correcta para el polémico propósito de demoler obras civiles con fines militares.

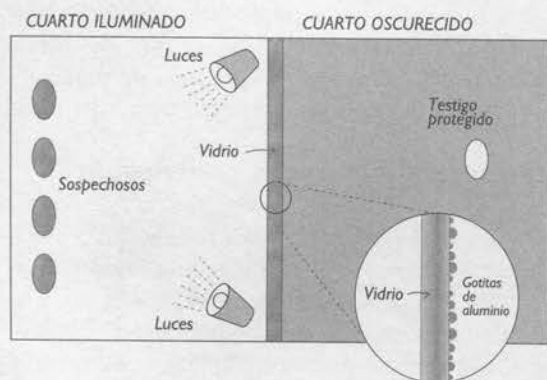
Rejas de protección para parabrisas

En caminos de ripio ocurre con frecuencia que las piedras que levanta un coche rompen los vidrios del mismo vehículo o de otro; se emplean entonces unas rejas de protección. Para que la visibilidad empeore lo menos posible, se pintan de negro las rejas, de ese modo no reflejan la luz del ambiente y se limitan a tapar una parte del paisaje, en vez de agregar luz espuria como ocurriría si fuera de color claro. Por la misma razón, se ve mejor a través de un velo negro que a través de uno claro.

Cámara de Gesell

Cuando queremos ver sin ser vistos (por ejemplo para poder ver la calle desde la ventana sin estar presentables, o para que un testigo identifique a un sospechoso sin temor a represalias), se utiliza un vidrio semiespejado. El metal que se deposita sobre el vidrio para hacer el espejo suele ser aluminio, aunque se puede usar también plata, mercurio y aleaciones.

Para poder emplear el vidrio semiespejado con ese fin, el recinto donde se ubica el observador tiene que estar a oscuras, y el otro muy iluminado.



El vidrio está parcialmente recubierto de metal, de modo que es posible ver a través de él, por los espacios libres que hay entre las gotas microscópicas de metal. La luz reflejada hacia el recinto de mayor iluminación le impide a quienes están de ese lado ver qué hay en el opuesto.

Destellos para fotografía a distancia

Algunas personas sacan fotografías con sus flashes en espectáculos públicos, sin percatarse de que la gran distancia a la que se encuentran del escenario hace que la luz del destello llegue muy debilitada a la escena.

En la visita que hizo el Papa a nuestro país en 1982, los camarógrafos de TV instalados cerca del altar donde ofició misa mostraban escenas panorámicas de la multitud, y se veían abundantes fogonazos de los flashes de sus cámaras. No sabemos si eran una demostración de igual cantidad de errores conceptuales ópticos, o simples disparos luminosos sin intención de obtener fotografías, que la muchedumbre dirigía a modo de saludo.



Los caricaturistas acostumbran representar con gruesos anteojos a los niños aplicados en el estudio. El prejuicio quizá tenga una base verdadera, pues hay muchas personas que sienten rechazo por la lectura sólo por padecer defectos visuales de los que no son conscientes; no es que les disguste lo que leen, sino que les incomoda o les causa dolor de cabeza el mero acto de leer.

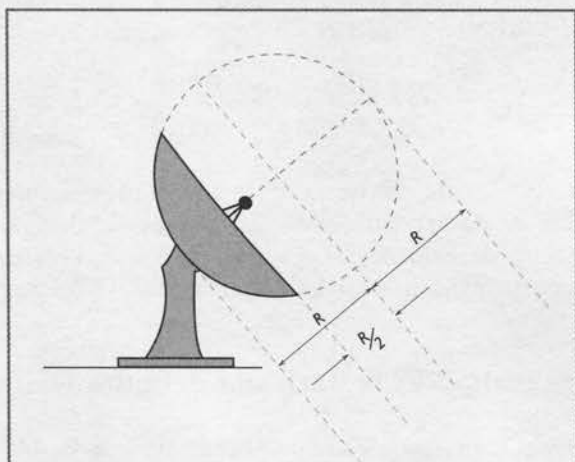
La palabra nerd denomina, en slang o lunfardo estadounidense a los alumnos excesivamente aplicados al estudio. Equivale a nuestro traga.

ÓPTICA FÍSICA. La luz como onda.

¿Cuál es el exacto límite entre la óptica geométrica y la óptica física? Esa pregunta no tiene respuesta; el límite es difuso en el mismo sentido en que no existe una separación neta entre la mecánica de Newton y la de Einstein, sino que aquélla se

aparta de ésta a medida que crecen las velocidades, de modo que para velocidades altas en comparación con la de la luz, la mecánica de Newton se aparta considerablemente de la realidad. Del mismo modo, podemos aplicar la óptica geométrica siempre que no consideremos detalles menores que la longitud de onda de la luz. En el caso de la luz visible para los humanos, ese valor es de aproximadamente medio micrón, pero no existe una transición brusca cuando se pasa por esa longitud de onda; simplemente se acentúan o se disimulan los efectos.

Es interesante, como ejemplo de aplicación de conceptos geométricos, el caso de las antenas satelitales o las de comunicación por microondas. En esos casos la longitud de las ondas electromagnéticas es pequeña en relación con el tamaño de la antena (por ejemplo, la antena mide unos tres metros, y las ondas son del orden de un centímetro). En ese caso se aplica sin inconvenientes la ley de reflexión geométrica; la antena se trata como espejo esférico; las imperfecciones de su superficie menores que un centímetro no cuentan.

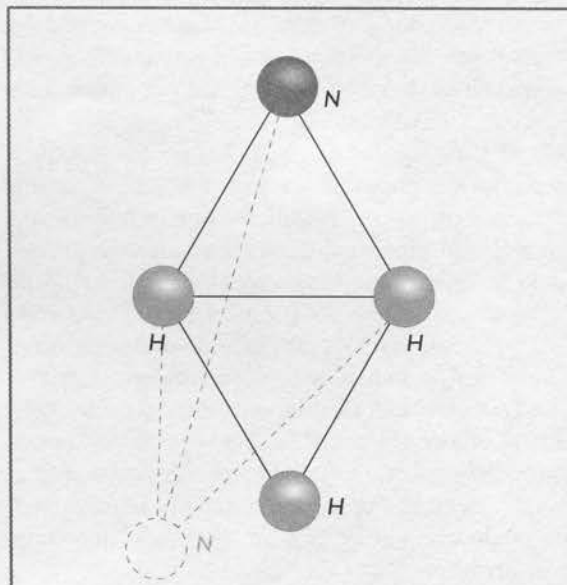


Las antenas satelitales reciben longitudes de onda del orden de los pocos centímetros. Mientras las irregularidades constructivas sean menores que ese orden de longitud, la antena se comportará como un brillante espejo esférico que concentra la radiación en el foco, a medio radio del centro de la esfera a la que pertenece el reflector. El receptor se ubica en ese punto.

El láser como máser óptico

Hoy todos han oído hablar del láser; en cambio es menos conocido su antecesor construido en 1954, el máser: *microwave amplification by stimulated emission of radiation*; amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación.

En mediciones efectuadas con un radar en la década de 1950 en las proximidades del río Támesis, en Londres, los operadores detectaron una fuerte absorción de las ondas de radio que, al estudiarse con mayor detalle, se comprobó que se originaban en las emanaciones cloacales, ricas en gas de amoníaco.



El amoníaco (NH_3) es un gas cuyas moléculas tienen un átomo de nitrógeno rodeado de tres átomos de hidrógeno; los cuatro átomos de la molécula forman un tetraedro.

Una particularidad de la molécula de amoníaco es que puede invertirse (el nitrógeno pasa de un lado al opuesto, forzando los enlaces) con una energía relativamente pequeña; esta inversión la efectúa con un ritmo típico, que coincidía con una de las frecuencias de los radares que operaban en la zona del Támesis.

Uno de los modelos de máser consiste en una cavidad de algunos decímetros de longitud en cuyo interior hay gas de amoníaco sometido a ondas electromagnéticas que se reflejan entre dos pantallas paralelas. Se generan ondas estacionarias que refuerzan un haz continuo de ondas, muy alineado, que puede atravesar uno de los extremos y dirigirse a gran distancia.

Tres años después de la construcción del máser, en 1957, se pudo construir un máser óptico, o sea un amplificador de luz por emisión estimulada de radiación, el láser.

ELECTROSTÁTICA.

Electricidad en reposo.

¿Circuitos eléctricos en electrostática?

Suelen expresarse reservas acerca de propuestas, como la que hemos hecho, de construir un circuito eléctrico cuando todavía no hemos concluido el capítulo de electrostática y aún no ha comenzado el que sigue de electrodinámica. Podemos ofrecer dos o tres justificaciones para ese proceder:

Una de ellas es que quizá no sea posible o conveniente presentar los conocimientos de una manera ordenada y metódica como lo impone una concepción piramidal de la enseñanza. Esa metodología quiere que toda exposición acerca de un tema utilice solamente palabras cuyo significado sea conocido por haberse definido antes. Se necesitaría así de una base de conocimientos primarios, directos, ciertos e indiscutibles (con los cuáles naceríamos) y se edificaría el resto de la pirámide del conocimiento con los conceptos sólidamente asentados sobre los previos y correlativos, de modo que sirvan de base firme a lo que sigue más arriba.

Creemos que esa pirámide no existe, que se pueden edificar construcciones inmensas a las que les faltan los cimientos, y hasta pisos enteros. Y más: también ocurre que aquello que se supone estudiado y sabido por siempre, probablemente se siga ignorando como antes de haberlo estudiado, o más. Sólo la permanente práctica y la necesidad urgente son las maestras del conocimiento. Todos los profesionales tienen olvidada la mayor parte de lo que han estudiado, y en cambio recuerdan —y a veces dominan— aquello en lo que son especialistas y con lo que trabajan todos los días.

Notemos que nadie objeta que se emplee un cronómetro para medir el período de un péndulo, a pesar de que aún no se haya visto el movimiento de rotación de un cuerpo rígido como el volante de su mecanismo, ni el momento de inercia, ni el funcionamiento del áncora y del escape (si es que el cronómetro se basa en ese principio de funcionamiento), y tampoco se ha estudiado la polarización de los cristales líquidos o las oscilaciones piezoeléctricas de los cristales de cuarzo, si el reloj posee esos elementos. El cronómetro actúa en ese caso como un mero instrumento y no como objeto de estudio; ése es, precisamente, el caso del detector de campos eléctricos que hemos propuesto construir.

Por último, señalemos que es tan aceptada la imposibilidad de tratar los temas una sola y ordenada vez, que se ha popularizado el llamado

método en espiral, que consiste en volver una y otra vez sobre el mismo asunto para tratarlo con creciente profundidad.

Es normal no entender algo; un segundo antes de aprender un concepto, no entendemos todavía su explicación; los niños aprenden a hablar sin que se les hayan definido antes los términos en los que nos dirigimos a ellos.

Falta de rigor en una fórmula

En libros de muy buen nivel aparece esta expresión:

$$\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}$$

Tengamos cuidado con ella, pues es incorrecta en sus unidades. Notemos que, por una parte, las unidades de ϵ_0 son F/m, pero según esa fórmula resultarían, en cambio, s^2/m^2 . Para corregir esa expresión debemos agregar, entonces, un factor de unidades que vale 1 (F/m).(m²/s²), o sea 1 F.m/s². Si tenemos en cuenta que 1 F = 1 J/C, que 1 J = 1 N.m y que 1 N = 1 kg.m/s², resulta:

$$\epsilon_0 = \frac{10^7 \text{ Fm}^2}{4\pi c^2 \text{ m s}} = \frac{10^7 \text{ Fm}}{4\pi c^2 \text{ s}^2}$$

En algunas obras se ha caído en la costumbre de no explicitar y dar por sobreentendido el factor de unidades al que nos referimos. Puesto que para nosotros eso ha sido fuente de confusión, por eso lo comentamos aquí.

El campo es la derivada del potencial

En el libro para los alumnos hemos omitido las referencias que demandan herramientas analíticas avanzadas como el cálculo diferencial (a pesar de que se enseñan en algunos establecimientos). Para nuestra formación, en cambio, la idea de derivada y de integral aclara más los conceptos: El campo eléctrico es la función derivada del potencial eléctrico, o sea la función que en vez de representar esa cantidad, representa su variación con la distancia.

Observaciones experimentales ocasionales

La sistematización de la observación experimental tiene, sin dudas, ventajas que justifican ampliamente las prácticas de laboratorio muy elaboradas, con planes previos, tablas de valores, gráficos, tratamiento de errores e informes. Pero, en ocasiones, es injustificado poner en marcha tanto apar-

to y procedimiento si se trata de observaciones menores que se pueden hacer rápidamente y cuando vienen al caso.

Por ejemplo, cuando apretamos mucho la tiza contra el pizarrón, suelen quedar pequeños fragmentos adheridos, que se desprenden cuando pasamos después el borrador y deslizan lentamente hacia abajo frenados por una muy débil fuerza de rozamiento. Nada impide (aunque estemos enseñando otro tema en ese momento) señalar a los alumnos que el fragmento de tiza es atraído por el pizarrón cargado por el roce, y por eso cae de esa manera extraña.

Otro efecto, que quizá tengamos ocasión de señalar, es el que se observa sobre una taza humeante de café: el agua condensada forma una niebla estable sobre la superficie del líquido, y se disipa al instante si acercamos un bolígrafo cargado por frotación.

Cuando descargamos un electroscopio o cualquier objeto, se puede experimentar con un electrodo de descarga que termine en punta y con otro esférico, o de extremo redondeado; el cuerpo se descargará ante el extremo afilado antes de tocar el cuerpo, por el llamado efecto de puntas de los pararrayos; la descarga es más fácil de la punta positiva a una superficie amplia negativa, que a la inversa.

Paradoja del capacitor

Solemos decir que los capacitores acumulan carga eléctrica, y que se los construye especialmente con ese fin. Pues bien, esa carga ¿es positiva o negativa?

La respuesta es que los capacitores “cargados” son neutros, pues sus placas tienen carga de polaridades opuestas. Cuando se habla de la carga acumulada en un capacitor, nos referimos a la de una de sus armaduras, y no a la de ambas en conjunto, cuya carga neta es nula, a diferencia del caso de un electroscopio, que está compuesto por un solo electrodo aislado de tierra. Notemos, entonces, que el significado de carga es sensible al contexto.

CIRCUITOS ELÉCTRICOS. Electricidad en movimiento

Es probable que, entre los alumnos de nuestros cursos, sólo un uno por ciento (o menos) planea

seguir estudios de física, y la cantidad de futuros ingenieros o ingenieras es también minoritaria. Aunque eso cambie en el futuro inmediato (o esté cambiando ahora) deberíamos tener presente que el estudio de los circuitos eléctricos en la enseñanza general debería aspirar a fines más amplios que el dominio de unas pocas leyes físicas de escasa o nula aplicación en la mayoría de los casos.

Hemos encontrado que la práctica con circuitos en serie y en paralelo, con combinaciones diversas de interruptores simples y combinados, es un buen medio para estudiar con base concreta conceptos que más bien se encuentran en el campo de la lógica, el cálculo combinatorio y la matemática, o sea de las ciencias formales y no de las naturales como quizás esperábamos. Hay siempre alumnos cuyo interés por nuestra materia es limitado, y sin embargo se sienten atraídos por las formas prácticas de comprender cómo se combinan proposiciones del tipo AND, NAND, OR, NOR y XOR (Y, NO Y, O incluyente, NO O y O excluyente, respectivamente). Otros, motivados por usos especiales que dan a sus computadoras, no vacilan en manipular transistores, soldar cables y reproducir como mejor pueden los circuitos que extraen de revistas, a veces sin comprenderlos.

La posibilidad de adquirir multímetros digitales de gran precisión (y una infinita variedad de componentes imposibles de detallar) a precio relativamente bajo, facilita considerablemente la experimentación.

MAGNETISMO. Corrientes en interacción.

Brújulas improvisadas

A pesar de que un hilo de coser no es un mecanismo de suspensión ideal (si se lo compara con un pivote o un flotador), sirve perfectamente para que un imán se oriente libremente en la dirección del campo magnético terrestre. Lo podemos comprobar con un imán colgado de un hilo de medio metro; el imán permanecerá casi inmóvil aunque demos muchas vueltas al extremo superior; eso muestra que la orientación se debe al campo terrestre y no a la torsión del hilo.

Hemos visto muchas caras de sorpresa en nuestros alumnos cuando, al llegar al aula un par de minutos antes de la hora y sin mediar palabra, poníamos varias gomas de borrar con agujas de coser

clavadas con la punta hacia arriba, y encima de ellas, en precario equilibrio, tiras de hojalata de las que se usan para encarpetar, previamente magnetizadas por acercamiento a un imán. Todas las tirillas se orientaban hacia el mismo lado, y volvían a su sitio cuando se las apartaba en otra dirección (a veces había que ayudar con algunos golpecitos sobre la mesa). Con esa disposición experimental es fácil comprobar la repulsión de polos iguales y la atracción de los opuestos. Algunos alumnos se interesaban, al principio, en asegurarse de que no hay trampa ni influencias extrañas; es que no creen que el campo magnético terrestre sea tan intenso.

¿Qué lugares son apropiados para guardar una tarjeta de peaje durante el viaje? a) La billetera; b) la guantera; c) la visera; d) bajo la imagen adhesiva ¡Papá, no corras! e) el cenicero.
R - Cualquiera, menos el de la medalla magnética. Algunas tarjetas de peaje tienen una banda magnética cuyo magnetismo residual se podría debilitar bajo la acción de un imán permanente.

Comprensión de la lectura

La utilidad de ejercicios aparentemente triviales que hemos incluido, como la primera pregunta del cuestionario sobre la navegación magnética de bacterias, es indirecta y semejante a la de las pruebas de audiometría o de agudeza visual que antaño se hacían a todos los estudiantes (pues de poco sirve la metodología de la enseñanza si no se ve o no se oye bien). Para poder comentar los procedimientos de la investigación científica es necesario antes —o al mismo tiempo— comprender el idioma castellano, conocer los significados de las distintas conjugaciones verbales y atender al preciso sentido de un enunciado y no sólo a la superficial impresión de algunas palabras aisladas, que casi siempre motivan respuestas de apariencia irreflexiva.

Campo magnético de un conductor recto e infinito

El valor de la inducción que genera una espira circular en un punto ubicado en su centro resulta relativamente sencilla de calcular. En cambio, si el punto en el que se desea calcular la intensidad del campo magnético no es el centro de esa espira, o se trata de un circuito de otra forma diferente de la circular, el cálculo se torna más complejo. Damos a continuación, sin demostración analítica, la expresión

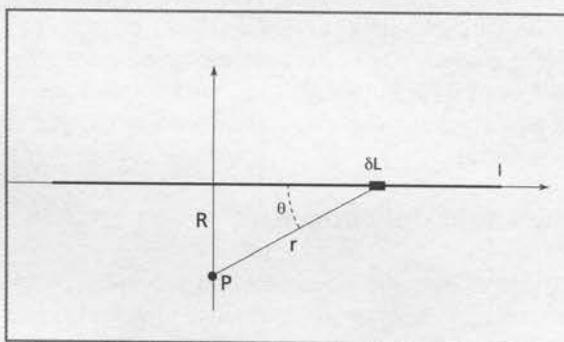
del campo magnético de un conductor recto e infinito, o que tenga sus extremos suficientemente alejados como para que podamos despreciar sus efectos.

$$B = 2K \frac{I}{d}$$

la magnitud d es la distancia entre el conductor y el punto en el que se calcula la intensidad del campo magnético.

Sin necesidad de emplear herramientas de cálculo complejas, la expresión anterior se puede demostrar por aproximación con el siguiente procedimiento, a partir de la ley general de Biot y Savart.

$$\begin{aligned} \delta B &= K \frac{I \delta L}{r^2} \sin \theta = K \frac{I \delta x}{d^2 + x^2} \frac{d}{\sqrt{d^2 + x^2}} = \\ &= K \frac{I \delta (x/d)}{d [1 + (x/d)^2]^{3/2}} \end{aligned}$$



Para calcular la inducción B en el punto P se pueden sumar las contribuciones de muchos segmentos de pequeña longitud, cuyas coordenadas x varíen, por ejemplo, entre -100 veces la distancia entre P y el conductor, y $+100$ veces esa distancia, en saltos de a un centésimo de d . (Los valores de -100 , $+100$ y $0,001$ son arbitrarios; cuanto mayor longitud se considere y menores sean los segmentos individuales, más preciso será este cálculo).

Llamemos u (por darle un nombre cualquiera) a la relación o cociente entre x y d . Resulta:

$$= K \frac{I \delta u}{d (1 + u^2)^{3/2}}$$

Todo lo que tenemos que hacer es ir variando u de a saltos de $0,01$, entre los extremos -100 y $+100$ y sumar los 201 resultados parciales. Para no tomarnos el trabajo mayúsculo de hacer eso a mano, usamos el siguiente programa BASIC. El resultado que se obtiene es 1,99817, que tiene un error menor que un milésimo con respecto al valor

exacto 2. Si se extienden los límites entre valores más amplios y se disminuye la longitud de cada segmento, el error se reduce todo lo que deseemos.

```
20 ACUMULADOR=0:COMIENZO=-100:FIN=100:SEGMENTO=.01
```

```
30 FOR U=COMIENZO TO FIN STEP SEGMENTO
```

```
40 ACUMULADOR=ACUMULADOR+SEGMENTO/(1+U*U)^(3/2):NEXT U
```

```
50 PRINT ACUMULADOR
```

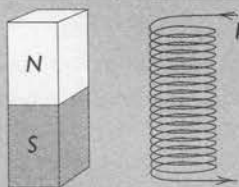
Este resultado 2 explica por qué el amperere se define como la corriente que produce una fuerza de *dos* diezmillonésimos de newton por cada metro de longitud de dos conductores rectos, paralelos e infinitos.

INDUCCIÓN ELECTRO-MAGNÉTICA. Efectos eléctricos de los campos magnéticos

Desde la perspectiva de los alumnos (que toman contacto superficial con la física a veces sólo durante dos años de sus estudios) es difícil recordar todas las leyes y reglas de la inducción electromagnética, con sus convenciones de signo, las de polaridad, reglas de la mano derecha y de la izquierda, o la del tirabuzón. Para mayor complejidad, esas reglas se aplican de manera diferente para el caso generador y el motor.

Hemos encontrado útil, en ese sentido, reducir esas reglas a una sola: las corrientes del mismo sentido se atraen; las opuestas se repelen.

Para que una descripción tan sintética tenga utilidad, es necesario pensar en los imanes como si fueran bobinas (esa idea no se aparta demasiado de la realidad, si se tiene presente que los electrones giran alrededor de los átomos y equivalen, en cierto modo, a espiras). Así, la atracción entre polos opuestos de imanes, y la repulsión de polos iguales, se explica como si los imanes fueran, en verdad, espiras o bobinas.



Los imanes permanentes se pueden pensar como bobinas por las que circulara una corriente permanente.

ESTRUCTURA DE LA MATERIA. El microcosmos

La superada dualidad onda-partícula

En algunos cursos elementales se suele presentar la llamada dualidad onda-partícula de manera algo misteriosa. Esa dualidad consiste en que llegaremos a contradicciones y absurdos si pretendemos concebir la materia como si siguiera las leyes clásicas de la mecánica de ondas y partículas, pero eso no quiere decir que la propia realidad física sea contradictoria o absurda; son, en cambio, las ideas desactualizadas las que merecerían, quizás, esa calificación.

Erwin Schrödinger (1887-1961) resolvió en 1927 los inconvenientes y contradicciones causados por los intentos de conciliar las ideas clásicas con el principio de incerteza, y propuso una ecuación, hoy llamada ecuación de Schrödinger. Su tratamiento requiere avanzadas herramientas matemáticas que se encuentran fuera del nivel de este curso; nos limitamos a decir que esa ecuación (válida para velocidades mucho más pequeñas que la de la luz) describe muy acertadamente el comportamiento de los electrones en los átomos, y también el de muchas otras partículas.

Aplicaciones bélicas de la energía nuclear

Según nuestra experiencia, los alumnos suelen manifestar un especial interés en el uso militar de la energía nuclear, no porque quieran dedicarse a esa especialidad ni nada semejante, sino por el temor grande y justificado que causan los medios poderosos de destrucción. En particular se interesan en la posibilidad de que los residuos de los reactores nucleares puedan ser robados para construir artefactos destructivos o venderse clandestinamente a países en guerra. También dirigen su atención a las circunstancias históricas del triste bombardeo a Hiroshima y Nagasaki. ¿Por qué fueron elegidas esas ciudades y no otras?

La información de que disponemos es limitada (naturalmente, la más interesante debe ser todavía un secreto militar), pero sí sabemos, por testimonios publicados de quienes participaron en aquellas operaciones, que había entonces una lista de muchas ciudades candidatas al bombardeo, y que las cambiantes condiciones atmosféricas determinaron que algunas ciudades se salvaran y dos quedasen condenadas. Una de las condiciones que satisfacían Hiroshima y Nagasaki es que, en 1945, tenían edificios bajos y livianos que no represen-

taban obstáculo importante para la onda explosiva y la radiación.

Aunque se pierda, en algún sentido, un tiempo importante de clase que se podría dedicar al estudio de principios físicos, consideramos justificado destinar recursos a la discusión y averiguación de estos aspectos sociales relacionados con la asignatura, pues una de las razones por las que se estudia física en las escuelas es la necesidad de ayudar a la formación de ciudadanos responsables en sus decisiones políticas; eso incluye informarse y saber votar en materia energética, económica y también militar.

Otra unidad de dosis de radiación

En el libro hemos omitido referirnos a la unidad sievert (Sv) de dosis de radiación, para no introducir detalles que pudieran complicarles el hilo temático a los alumnos. Esa unidad es equivalente al gray, pero ponderada por las diferencias de daño físico que producen dosis idénticas en grays, según qué órganos afectan. Así, una radiografía de cadera, de tórax o de antebrazo, aunque tengan la misma dosis en grays, la tendrán diferente en sieverts. Es importante tener en cuenta esa diferencia cuando se evalúan riesgos radiativos.

Fusión nuclear

Nunca dejaremos de sorprendernos de dos reacciones opuestas que presentan a menudo nuestros alumnos; una es que muestran interés y facilidad de comprensión hacia temas que creíamos vedados para ellos (por su complejidad o abstracción). La otra actitud es la contraria: a veces manifiestan dificultades con los aspectos más elementales del razonamiento o del cálculo.

Por ejemplo, contémosles cuál es la composición del deuterio (un protón, un neutrón y un electrón) y la del helio (dos protones, dos neutrones y dos electrones).

Sugirámosles que, si se fundieran en una sola partícula dos deuterios, tendríamos un átomo de helio, y lo aceptarán con naturalidad (quizá pregunten cómo se llevaría a cabo esa unión). Pidámosles, a continuación, que averigüen las masas de esos dos nucleidos, y lo harán sin dificultad, con la ayuda de enciclopedias o bases de datos. Señalémosles la diferencia de masa que existe entre dos deuterios y un helio. Se intrigarán. Sin embargo, aceptarán sin extrañarse que la diferencia de masa es la energía que se libera en la reacción de fusión, y más de uno mencionará la célebre fórmula de Einstein $E=mc^2$. Si agregamos el dato de que el hidrógeno del agua común tiene un

0,015% de deuterio, ya estamos en condiciones de calcular para cuánto tiempo de suministro de energía eléctrica domiciliaria nos serviría un litro de agua de la canilla, si existiera ya una manera de extraerla (podríamos, a 600 kW.h por bimestre, alimentar nuestra vivienda durante más de un año con un solo litro de agua).

Nos sorprenderá el tipo de dificultades que se les presentarán al resolver ese ejercicio, pues no estarán relacionadas con la conversión de masa en reposo en radiación; los tropiezos serán con las unidades, con el pasaje de kilowatts hora por bimestre a watts, con el cálculo de un porcentaje o con el empleo de la tecla exponencial de la calculadora.

Lejos de pensar “¿Para qué enseñarles la fusión nuclear, si ni siquiera saben dividir?!” usemos lo que saben o entienden, para que alcancen destreza y familiaridad con lo que aún les resulta extraño y difícil: calcular el 0,015% es más raro, asombroso, extraño y atrevido, para nuestros alumnos, que obtener energía casi gratuita del elemento más abundante en el universo.

Quarks

No existe hoy una razón práctica de utilidad inmediata y cotidiana para el estudio de los quarks y la estructura más íntima de la materia; fracasaríamos si pretendiéramos tratar esos temas como si su conocimiento fuera un instrumento imprescindible para acceder a otros más aplicables (como quizá sí sea de ese modo en otros casos). Por el contrario, sugerimos tratar esos aspectos más como respuesta a las preguntas de los alumnos, que como proposiciones independientes.

Cuando nos preguntan si algo que estamos exponiendo hay que saberlo, lo que en realidad desean saber es si van a ser examinados en ese tópico, y ése sería el único motivo para estudiar el tema o prestar atención, porque no hallan utilidad inmediata, placer, instrumento ni estructura en lo

que reciben en ese momento. Si buscamos vías más gratas que la imposición de obligaciones de estudio, podemos anticipar estos temas en las ocasiones en que se formulen las respectivas preguntas.

Por ejemplo, cuando hablamos de electricidad y les recordamos que los átomos tienen un núcleo positivo y electrones, es probable que alguien pregunte de qué están hechas esas partículas; en ese momento, en vez de pedirles que moderen esa curiosidad para cuando llegue el momento de tratar el correspondiente capítulo, podemos saltar al tema que ha suscitado interés.

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO. El macrocosmos

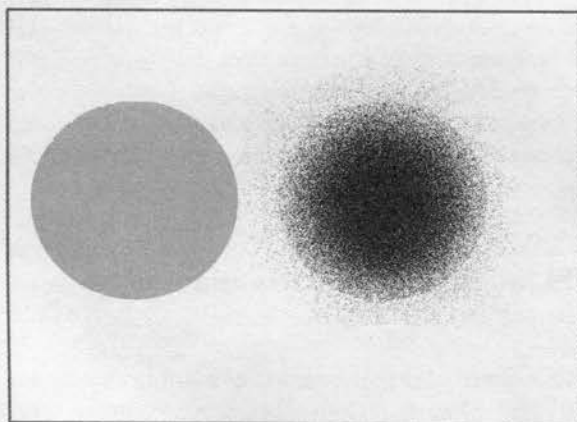
Universo jerárquico de Mandelbrot

Es muy atractivo el argumento del matemático del siglo XX Benoit B. Mandelbrot, aunque ni él mismo se atrevió a proponerlo como una explicación de la paradoja de Olbers sino sólo como una especulación. Mandelbrot notó que los neutrones y protones forman núcleos atómicos; los núcleos y los electrones forman átomos; éstos forman moléculas; las moléculas se agrupan en cuerpos (entre ellos, los planetas y las estrellas), las estrellas se agrupan en galaxias, y las galaxias en cúmulos o racimos. En esa línea de pensamiento bien podría-

mos suponer que hay agrupamientos de cúmulos, agrupamientos de agrupamientos, y así indefinidamente.

La densidad media del universo infinito de Mandelbrot es cero, y la densidad media de una región dada dependería de cuál sea el lugar donde se estime la densidad, y de cuán extensa sea esa zona. Por ejemplo, la densidad de un neutrón es de $4 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$; la de la Tierra, de 3000 de las mismas unidades; la del Sistema Solar, de $3 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^3$, y la de nuestra Galaxia (la Vía Láctea), de $4,5 \times 10^{-20} \text{ kg/m}^3$.

Los cálculos (que no haremos aquí) muestran que el modelo de Mandelbrot resuelve, ciertamente, la paradoja de Olbers: un universo como el que él imaginó se puede pensar infinito sin que la radiación de su materia exceda el valor conocido.



Modelo de universo jerárquico de Mandelbrot. La materia no estaría distribuida uniformemente en el espacio, sino agrupada en jerarquías. Las partículas formarían grupos, y los grupos formarían grupos de grupos; así indefinidamente hacia lo grande y hacia lo pequeño.

Las teorías científicas

El juego de la NASA: una misión lunar en emergencia

Respetar las diferencias

Mediciones aburridas

Ángulos redondos

Errores de cálculo

Formatos de fecha

Precisión sospechosa

Datos exactos, resultados redondos

Amenidad y rigor

Las teorías científicas

Vimos este cartel irónico y burlón en el laboratorio de desarrollo de una industria:

Teoría y práctica

Práctica es cuando las cosas funcionan, pero no se sabe por qué. Teoría es cuando las cosas no funcionan, pero se sabe por qué.

Acá combinamos perfectamente la teoría con la práctica: las cosas no funcionan... ¡y no sabemos por qué!

Nos hemos referido, en el texto para los alumnos, al significado especial que tiene la palabra teoría en el ámbito científico: es un cuerpo organizado de conocimientos, *estén corroborados o no*. Conviene aclarar especialmente ese punto, pues el empleo de igual palabra con los más diversos significados hace que algunos estudiantes elaboren ideas desacertadas acerca del grado de comprobación de las diversas teorías. Nosotros colaboramos con esa confusión cuando hablamos de clases teóricas, por oposición a las prácticas o de ejercicio.

El juego de la NASA: una misión lunar en emergencia

Ignoramos el origen exacto del nombre de esta actividad. Uno de nosotros la conoce como un ejercicio de dinámica de grupos con problemas simulados que utilizaban organizadores de encuentros de capacitación para gerentes de empresas. Puesto que a esos cursos asistían ejecutivos de las más diversas especialidades (contadores, abogados, ingenieros) resultaba práctico, para obviar las asimetrías de conocimientos, elegir un tema supuestamente desconectado de la profesión de cada uno de ellos, como el siguiente:

Seis viajeros espaciales hacen un alunizaje forzoso en el lado oculto de la Luna, de día, a 300 kilómetros de un refugio habitado. La nave quedó totalmente inservible, pero han logrado rescatar de a bordo (además de sus trajes espaciales que llevan puestos) los siguientes elementos, que se citan por orden alfabético:

- a) Agua
- b) Alimentos sólidos
- c) Bote salvavidas con su tanque de gas para inflarlo

- d) Botiquín de primeros auxilios
- e) Brújula
- f) Calentador eléctrico con sus pilas
- g) Fósforos de madera
- h) Leche en polvo
- i) Mapa estelar
- j) Oxígeno en tubos
- k) Paracaídas
- l) Pistola calibre 45 con toda su carga de proyectiles
- m) Radiotransmisor y receptor de frecuencia modulada
- n) Señales de bengala para emergencias náuticas
- ñ) Soga de 30 metros



El juego consiste en dar esta lista a cada participante y pedirle que, primero individualmente y en unos 6 minutos, clasifique los quince elementos según el orden de prioridad o necesidad de empleo que le atribuye a cada uno en las condiciones especiales de esa emergencia.

Finalizada esa etapa, se agrupa a los participantes de a seis y se pide a cada persona que, en un tiempo similar al anterior, confeccione una segunda lista. Esta vez puede consultar a sus compañeros de grupo, sin la obligación de hacerles caso.

Cumplido ese paso, se les pide a cada grupo que hagan una tercera lista, pero esta vez tiene que haber un despacho o acuerdo único de cada grupo.

Finalizada esa tarea, que se haría en menos de 20 minutos, se comparan todas las listas con la que tienen los organizadores con las respuestas correctas y que ha sido —suponemos— elaborada

por especialistas: 1:j, 2:a, 3:f, 4:b, 5:m, 6:ñ, 7:d, 8:k, 9:c, 10:n, 11:l, 12:h, 13:i, 14:e, 15:g.

Cuando se computan los errores, las listas más equivocadas suelen ser las que realizó cada participante individualmente. Cuando la persona tiene la oportunidad de consultar a otras, mejora notablemente su fracción de aciertos, aunque haga prevalecer su propio criterio en caso de desacuerdo.

Lo interesante es que los mayores aciertos se consiguen cuando se ha arribado a una decisión conjunta de un grupo de personas, aunque no alcancen un verdadero acuerdo de ideas; en eso consiste la moraleja de esta actividad destinada a entrenar organizadores de empresas.

A veces hay notables excepciones; por ejemplo, bien podría ocurrir que un participante empeore su fracción de aciertos después de una consulta o del acuerdo, en vez de mejorar. En ese caso los organizadores (que estuvieron paseándose entre los grupos y tomando notas) puntualizan las anomalías operativas que probablemente causaron ese resultado indeseable: pudo haber ocurrido que ese participante haya quedado encandilado por los supuestos conocimientos de algún otro integrante que lo apabulló con su labia, que no hayan dejado hablar al que realmente sabía, que hayan desperdiciado tiempo en discutir detalles insignificantes o que, en una caricatura de democracia o un mal entendido espíritu expeditivo, hayan votado la decisiones sin siquiera discutir las; todo eso aumenta el riesgo de error.

En relación con la lista de respuestas correctas, no tenemos ahora más justificación ni precisiones que los siguientes comentarios recogidos de la tradición oral y de las averiguaciones que hemos podido realizar:

En la Luna no hay oxígeno ni agua, una persona puede vivir sólo cinco minutos sin respirar y no más de unos pocos días sin agua. El campo magnético de nuestro satélite es insignificante e incapaz de orientar una brújula común, a pesar de que su pivote se encuentre aliviado en las condiciones de gravedad reducida. La radio FM sólo llega hasta el horizonte (muy cercano en la Luna); los fósforos no permanecen encendidos por falta de oxígeno, aunque las luces de bengala llevan su propio comburente y podrían ser lanzadas para pedir auxilio a la base (si es que alguien está mirando para lado correcto en ese momento); a pesar de que es de día, el brillo de la bengala se destacaría bien contra el negro del cielo lunar carente de atmósfera. El paracaídas parecería completamente inútil (a veces hay participantes que proponen volver a la Tierra arrojándose en paracaídas desde la Luna) por dos razones: no hay des-

de dónde arrojar, y además no hay aire que actúe como freno. Sin embargo, su tela puede servir de pantalla contra la intensa y dañina radiación solar, también para improvisar una camilla y transportar a un herido, o para llevar objetos; la misma función cabe al bote salvavidas, a pesar de que no hay dónde navegar con él.

¿Qué función habrán imaginado los especialistas para la pistola, que no aparece como el objeto más inútil de la lista? ¿Acaso la de poner en órbita lunar un pequeño subsatélite y llamar así la atención de la base? ¿La de imponer una férrea disciplina militar al grupo? A la física le interesa considerar si el arma se podrá disparar o no bajo vacío, si habrá o no un fogonazo y ruido, y si el proyectil regresará al suelo con velocidad igual a la inicial, o diferente.

Aparte de la vertiente sociodinámica de esta clase de trabajo, señalamos la utilidad que puede tener para nuestras clases de física, dado que presenta ocasión de analizar y discutir los conceptos fuera del contexto cotidiano que a veces enmascara su naturaleza. ¿Cuántas veces pedimos en clase a los estudiantes que imaginen estar lejos de la Tierra, para que distingan mejor la diferencia entre la masa y el peso de un objeto? En este sentido, el juego de la NASA podría servir a los mismos fines que el ejercicio del coche en la Luna que integra el capítulo de Hidrostática.

Respetar las diferencias

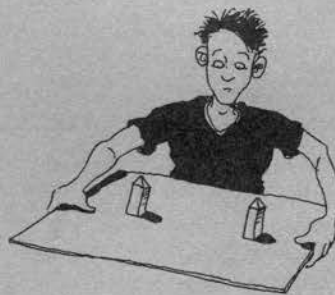
Existen diferencias congénitas y adquiridas entre las personas que influyen en el diferente rendimiento de sus estudios. Por esta razón, los cursos no pueden presumir la existencia de un nivel uniforme de comprensión, y si lo hiciesen, resultarían excluidos del interés por la clase tanto los estudiantes menos aventajados como los más; la actividad estaría dirigida a una ínfima minoría, que aunque esté en el promedio no representa la cantidad. Los intentos por nivelar los conocimientos, además de infructuosos son inconvenientes, si por nivelar se entiende poner donde falta y no donde sobra, porque nunca sobra, y la utilidad social del estudio del estudiante avanzado no es menor que la de los demás, y quizá sea mayor si se la mide en términos no sólo cuantitativos. Conviene, pues, respetar y alentar las diferencias de intereses de los estudiantes, y permitir que la profundidad con la que estudian cada tema sea personalizada y no uniforme. Esto es difícil de conseguir, pues sole-

mos tener prejuicios acerca de qué es lo central y secundario: cuando nos preguntan qué temas consideramos más importantes, solemos responder qué es lo que sabemos, o qué se nos ha enseñado cuando éramos estudiantes.

Mediciones aburridas

Recordamos haber hecho algún trabajo práctico en el que debíamos medir centenares de veces la longitud de una mesa, para después dividir los datos en series y estudiar qué relaciones satisfacían las dispersiones de cada una con la dispersión del conjunto de las mediciones. Esa práctica era válida puesto que, para practicar los rudimentos del procesamiento de datos experimentales, su presentación gráfica y el análisis de los errores, bien podía servir una medición tan elemental de longitudes como aquélla. Sin embargo, tiene un inconveniente metodológico: *medir mil veces una mesa es muy aburrido*.

Sugerimos evitar a los estudiantes prácticas tan tediosas (aunque en rigor sirvan a los fines de ejercitar el tratamiento elemental de los datos). Es

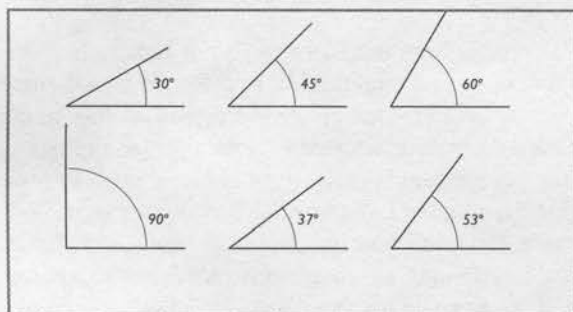


En relación con la medición del diámetro terrestre, Carl Sagan (en uno de sus programas de la serie *Cosmos*) hace una muy vistosa y clara exposición del método de Eratóstenes con la ayuda de un mapa trazado sobre un cartón flexible, al que se adhieren en ángulo recto dos lápices que representan los postes o gnomons de dos ciudades apartadas. Al poner ese cartón al sol, ambas sombras resultan iguales, pero se hacen diferentes si se encorva el mapa y se pierde el paralelismo de las estacas.

preferible proponer la medición de cantidades que puedan ser de mayor interés. Un ejemplo sería determinar el diámetro terrestre con observaciones de horizonte desde diferentes alturas, o simplemente con la ayuda de las marcas de los paralelos y meridianos en un mapa de rutas; otro podría consistir en medir el período de locomoción de un cuadrúpedo para compararlo con el de un péndulo de igual longitud que las patas del animal, u otra aplicación que pueda tener un interés propio además del de ilustrar conceptos generales de medición.

Ángulos redondos

Los clásicos ángulos de cero, 30, 45, 60 y 90 grados parecerían ser los únicos que existen en la naturaleza o en la imaginación, si lo juzgamos por su presencia excluyente en los ejercicios de física. Suelen usarse, también, el ángulo de 37 grados y su complementario de 53, aproximaciones de 36,869897... y 53,130102... que, aunque no son redondos, sí lo son sus senos y cosenos de 0,6 y 0,8.



Los seis ángulos preferidos por los profesores de física.

Del mismo modo en que ocurre con el redondeo artificioso de los resultados, la práctica de emplear sólo estos seis ángulos en la enseñanza de la física genera desorientación en las primeras etapas profesionales, y despierta el merecido comentario de cuán diferentes son la física de la escuela (y la de los primeros años de estudios superiores) y la de la vida. Más de una vez le habrán preguntado sus alumnos, ante un ejercicio que se apartaba de esa desaconsejable costumbre: “¿Puede ser que me dé con coma?” Una profesora amiga, Rosa Ádám, solía responderles: “En la vida real, todo da con coma.”

Errores de cálculo

La tradición escolar se inclina por tolerar en exceso los errores de cálculo en la resolución de ejercicios (“Es sólo un error de cuentas; conceptual-

mente está bien.”), o “Físicamente es correcto; el error de cálculo es un problema matemático, y esa materia la dicta otra profesora; que se ocupe ella de enseñar a hacer bien las cuentas.”).

Vemos con preocupación esa tendencia, porque aleja aun más la escuela de la vida. Muchos buenos profesionales preferirían mil veces dar por casualidad un resultado acertado, que errar una sola vez con los conceptos claros.

Suponemos que la tradición que criticamos deriva de la función tradicional y obsoleta de la antigua escuela, que era la de enseñar obediencia y no conocimientos. Ahora la demanda social de cultura, conocimientos y destrezas es muy intensa y está plenamente justificada; no son admisibles los errores en el resultado, y no basta con la intención de dirigirse a un fin: hay que alcanzarlo.

Lo mismo se puede decir con respecto al mal empleo de las calculadoras de bolsillo: algunos estudiantes, para introducir el valor de 9×10^9 marcan [9] [x] [1] [0] [EXP] [9] [=], y así introducen un factor diez de error; tendrían que haber marcado [9] [EXP] [9] [=] sin el diez, o bien emplear la más laboriosa secuencia:

[9] [x] [1] [0] [2nd fct] [y^x] [9] [=].

(En algunas calculadoras [2nd fct] se marca [Shift].) Cuando señalamos a los estudiantes ese error, culpan a la calculadora o claman porque nadie les enseñó a manejarla en esa aplicación. Podemos hacerles ver, además, que podían hacer una estimación mental previa del orden de magnitud para orientarse en el análisis crítico del resultado. Es muy útil, también, experimentar en la calculadora operaciones sencillas cuyo resultado sabemos de antemano, por ejemplo $4 \times 10^2 = 400$. Si al intentar introducir esa cifra nos encontramos con un 4000, sabremos que hemos cometido un error fácil de rastrear con sólo hacer un par de pruebas adicionales.



Formatos de fecha

A pesar de los acuerdos internacionales en favor del sistema métrico y de las normas de fabricación y de comunicación cada vez más uniformes (los envases de los alimentos ya mencionan en joules, y no en calorías, su valor energético), aún subsisten diferencias arraigadas en antiguas costumbres que originan algunas dificultades. Un ejemplo es el dado por los llamados formato americano (en rigor, estadounidense) y formato europeo para la fecha. El 02-08-94 puede ser el ocho de febrero en los EE.UU. o el dos de agosto en nuestro país.

Algunos relojes ofrecen a sus usuarios la posibilidad de pasar a voluntad de un formato de fecha a otro, pero los más económicos tienen solamente el formato norteamericano. Por eso es preferible, cuando escribimos una fecha, emplear una notación en la que los meses se señalen con letras en vez de números: 02.Ago.94.

¿Qué tiene que ver el formato de las fechas con la física? Quizá no mucho para un futuro físico o ingeniero, pero sí tiene una gran relación con el trabajo en cualquier profesión; la escuela es el lugar apropiado para aprender esos conocimientos y la materia Física es, en nuestra opinión, la más cercana a la cuestión de cómo expresar las cantidades de modo que todos puedan entenderlas.

A veces se dice que algo se va a hacer en veinticuatro horas, o en cuarenta y ocho, y hasta en setenta y dos, en vez de decir un día, o dos, o tres. Con estas expresiones se desea enfatizar que no habrá demoras en el cumplimiento de los compromisos, ni siquiera las que puedan disimularse en las fracciones de día.

Hay fechas con las que no cabe confusión posible; tanto el 28.2.94 como el 2.28.94 se interpretarán bien en todo el mundo porque no hay mes 28. Pero para prever la ilegibilidad parcial de un fax, es preferible poner 28.Feb.94. Hay quienes ponen así la fecha: 940228. Es difícil leerla, pero es de utilidad para clasificar documentos por orden de llegada.

Precisión sospechosa

Leemos, por ejemplo, que el presupuesto de un municipio para una determinada obra es de \$ 2.056.611,07. Pero todos conocemos el valor convencional de semejante precisión; se trata de números que se firman y se aprueban (que resul-

tan de la suma de presupuestos aprobados), pero que nadie en su sano juicio se los cree de veras, pues se habrán de modificar varias veces durante el curso de las obras. El buen sentido evita referirse a las cifras menos significativas cada vez que es necesario mencionar esa cantidad en las discusiones.

Los alumnos suelen preguntar con cuántas cifras decimales deben expresar el resultado de haber medido la aceleración de la gravedad con un péndulo. En vez de responderles, por ejemplo, que utilicen sólo dos cifras (o las que nos parezca que corresponden a la precisión del procedimiento), pidámosles que repitan la determinación: las diferencias que encuentren serán muy sugestivas y les permitirán decidir con buen criterio en qué cifras pueden confiar, y cuáles son totalmente irrelevantes. Hemos podido comprobar cómo alumnos de muy precarios conocimientos se daban cuenta por sí solos que, cuando la precisión de sus procedimientos lo requería, había que tomar el número π con más cifras decimales que las acostumbradas.

Datos exactos, resultados redondos

A veces sobran datos; otras faltan (así es la vida profesional en cualquier ocupación). La tradición escolar prefiere que en los ejercicios no sobren ni falten datos; que además el resultado sea redondo, que las preguntas estén muy claras y que las respuestas puedan hallarse sólo con lo que se dio en clase. (*"¡Tomaron algo que no se dio!"*, exclaman los estudiantes en cuanto un problema se aparta sólo un poco de los ya ejercitados.) En la vida real, en cambio, los resultados rara vez son redondos; los problemas no están bien definidos; los datos sobran y faltan a la vez; y de los datos que sobran, los hay inconsistentes. Y sin embargo, la mayor parte de los profesionales son capaces de trabajar bien aun en esas circunstancias.

Amenidad y rigor

En 1950, en una visita escolar a Radio El Mundo, el empleado de la Radio que la conducía invitó a los estudiantes a hacer preguntas. Uno dijo:

—Ayer fui al Zoológico y vi una persona que llevaba una radio como una valija, ¡y funcionaba sin estar enchufada en ningún lado! ¿Cómo es posible?

Tengamos en cuenta que en esa época no existían los transistores y las radios portátiles eran una rareza: aparatos enormes, costosos e incómodos por el peso de las bate-

rías que alimentaban a las válvulas. El funcionario le dijo:

– Ustedes imaginen un perro salchicha. Le pisan la cola acá, y el perro ladra un poco más allá. ¿Entienden?

– ¡Sí! - respondimos.

– Ahora imaginen que el perro salchicha es larguísimo: le pisamos la cola acá, pero el perro ladra en los Estados Unidos. ¿Se entiende?

– Sí, hasta ahora entendemos –respondimos, algo desorientados.

– Pues bien: la radio es lo mismo, pero sin perro.

Todos reímos, y algunos recordamos para siempre la anécdota. A nosotros nos muestra la diferencia que existe entre un técnico de radio y un experto en relaciones públicas en la conducción de una visita escolar.

Fue menos memorable la explicación del maestro cuando nos dijo después en la Escuela que el tomacorriente de la pared sólo suministra la energía que necesita la radio, y que la señal viaja por el espacio, y no por la línea en este caso.

La asociación de la amenidad con el rigor conceptual es uno de los más atrayentes desafíos de la labor docente.

Bibliografía general
Revistas
Para finalizar

Cinemática y dinámica

Física, el movimiento, 2, volumen I, autores varios, Buenos Aires: Prociencia, 1988. *La cinemática y la dinámica tratadas con ejemplos de clase.*

Leyes de conservación

Física, el movimiento, 2, volumen II, autores varios, Buenos Aires: Prociencia, 1988. *Otra parte del mismo curso de capacitación docente.*

Gravedad

Mecánica: de lo simple a lo complejo, Liliana Reynoso, Ricardo Castro, Jorge Rubinstein, Municipalidad de Buenos Aires, Secretaría de Educación y Cultura, 1994. Publicación de 84 págs. con el desarrollo de aspectos metodológicos, didácticos y físicos de algunas cuestiones gravitatorias, entre ellas la orbitación y la ingravidez aparente. Incluye una reseña del marco teórico constructivista.

Gravedad, George Gamow, Buenos Aires: EUDEBA, 1962. *Expone las ideas clásicas y modernas en gravitación. Desarrolla el tema de los viajes espaciales con la consideración del potencial gravitatorio solar además del planetario.*

Hidrostática

"Pompas de jabón", Charles V. Boys, Buenos Aires: EUDEBA, 1961. *Es la versión grabada corregida de una conferencia que pronunció el autor en 1889 (así es: hace más de cien años, no es un error tipográfico). Es quizá el mejor ejemplo de una buena clase de física. Incluye experimentos proyectables a grandes auditorios con recursos de la época (con cuánta más razón son realizables hoy con los medios audiovisuales actuales). Es muy curioso el amplificador de agua que permite percibir al auditorio el tic-tac de un reloj de cuerda.*

Ondas

Ecos de murciélagos y de hombres, Donald R. Griffin, Buenos Aires: EUDEBA, 1960. *Propone y analiza interesantes y sencillos experimentos con ondas y sonido, que tienen ahora especiales posibilidades de realización con los equipos de audio de uso común. Muestra qué elaborado y potente es el aparato auditivo de los mamíferos, y nos hace conocer destrezas propias de nosotros los humanos, cuya existencia ignorábamos poseer, por ejemplo la de ubicar objetos en la oscuridad con chasquidos de los dedos.*

Las ondas y el oído, Willem A. Van Bergeijk, John R. Pierce y Edward E. David, (h), Buenos Aires: EUDEBA, 1960. *Toca varios temas fonoaudiológicos que constituyen buenos ejemplos de tratamiento concreto de la mecánica de las ondas. Incluye observaciones acerca del aparato fonador humano y los puntos de articulación de las consonantes en algunos idiomas.*

"El oído de la lechuga", Eric I. Knudsen, Investigación & Ciencia, N°65, abril de 1982.

Ondas y mensajes, John R. Pierce, Buenos Aires: EUDEBA, 1969.

Ciencia, arte y comunicación, John R. Pierce, Buenos Aires: EUDEBA, 1973.

"Dialectos del chingolo", Pablo L. Tabaro, Buenos Aires: Ciencia Hoy, vol. 2 N° 11, págs. 26-34, enero de 1991.

El oído y el lenguaje, Alfred Tomatis, Martínez Roca, Barcelona, 1969. Es un libro con ilustraciones muy llamativas.

Tratado de la pintura, Leonardo Da Vinci, Buenos Aires: Espasa-Calpe, Colección Austral, 1947.

Física, el movimiento, 2, volumen II, autores varios, Buenos Aires: Prociencia, 1988.

Calor

"Heat Transfer in a Bar, Numerical Method and Group Dynamics", Jorge Sztrajman and Agustín Rela, Londres: International Journal of Mathematics Education in Science and Technology, 1991, vol. 22, N°6. Presenta una de las aplicaciones de los métodos numéricos en la resolución de un problema termodinámico, en este caso sin el uso de computadoras, y adaptado a la formación de niños de muy corta edad, de quienes se espera sólo que sepan sumar y dividir.

"El juego del calor: una experiencia integradora en ciencias naturales", Elsa Meinardi, Jorge Sztrajman y Agustín Rela, Novedades Educativas, N°65, Suplemento N°5, 18, 1996.

Introducción a la termodinámica, teoría cinética de los gases y mecánica estadística, F.W. Sears, Barcelona: Reverté, 1994.

Óptica geométrica

Luz y color, Clarence Rainwater, Barcelona: Daimon, 1971. Expone la teoría tricromática de la composición de los colores. Da una explicación elemental del arco iris y hace referencias a las aplicaciones industriales de la colorimetría. Está ilustrado, naturalmente, en colores.

El ojo mágico, N. E. Thing Barcelona, Enterprises, 1994. Tiene unas 30 ilustraciones en colores para ver en tres dimensiones sin la ayuda de anteojos ni otro artificio diferente de la disciplina visual y perceptiva del lector, quien debe dirigir su vista al infinito como si mirara a través de las láminas; de esa forma cada uno de los ojos ve una imagen diferente que la percepción interpreta como escenas estereoscópicas. No se trata aquí de fenómenos estrictamente físicos (más allá de la técnica del enfoque y aplicaciones sencillas de la óptica elemental de la visión). Las ciencias que intervienen son la geometría, la psicología y la

computación, pero la experimentación de esos efectos da lugar a referencias a otros medios ópticos 3D, como los de filtros coloreados y polaroides. El empleo de un prisma improvisado con dos portaobjetos de microscopio y gelatina incolora de repostería facilita la percepción de los sujetos menos sensibles.

Óptica ondulatoria

"Cómo es una holografía", Alberto P. Maiztegui y A. E. Iparaguirre, Rosario: Revista de Enseñanza de la Física, vol. 4 número 1, diciembre de 1991. El artículo está basado en una conferencia que pronunció Albert A. Báez en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba, en diciembre de 1987.

Michelson y la velocidad de la luz, Bernard Jaffe/John, Buenos Aires: EUDEBA, 1961.

Estructura de la materia

"Fuerzas nucleares", Manuel Roberto Tobilotta y Hélio Teixeira Coelho, Buenos Aires: Ciencia Hoy, vol. 3 N° 14, julio de 1991.

Radiación: dosis, efectos, riesgos, Mostafá Kamal Tolba, Buenos Aires: Sociedad Argentina de Radioprotección, Comisión Nacional de Energía Atómica, 1989.

Estructura del universo

Cosmos, Carl Sagan, Buenos Aires: Planeta, 1985. Esta atractiva obra no necesita presentación, por haberse difundido mucho una serie televisiva del mismo nombre y contenido. Pocas veces veremos tan unidos la divulgación con el rigor científico.

Viaje extraordinario (Guía turística del sistema solar), Ron Miller y William K. Hartmann, Barcelona: Planeta, 1981. Describe detalladamente nuestro sistema solar, con atractivas ilustraciones; algunas de ellas son fotografías tomadas con telescopios terrestres y a bordo de naves espaciales; otras son creaciones artísticas, pero fieles al conocimiento astronómico contemporáneo.

Una visión del cosmos (El universo en cuarenta saltos), Kees Boeke, Buenos Aires: EUDEBA, 1964. Son 40 ilustraciones comentadas, cada una diez veces más ampliada que la anterior, desde el tamaño más pequeño que se conoce (la longitud de onda de un rayo cósmico) hasta la totalidad del espacio astronómico, que se supone de un diámetro de unos 15.000 millones de años luz. En las escalas intermedias aparecen los tamaños ordinarios que apreciamos con nuestros sentidos.

El mensajero de los astros, Galileo Galilei, Sidereus Nuncius, 1611, Buenos Aires: EUDEBA, 1964. Describe con detalle el descubrimiento de los satélites de Júpiter cuando el inventor de la física experimental dirigió por primera vez un telescopio al cielo, veinte años antes de sufrir las amenazas y castigos del Santo

Oficio, de modo que todavía hablaba sin empacho del movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

De revolutionibus orbium coelestium, Nicolás Copérnico, libri 4, Nuremberg, 1543. Hay una edición castellana: Las revoluciones de las esferas celestes, EUDEBA, B. Aires, 1965. Esta obra es uno de los múltiples ejemplos de cómo las fuentes clásicas son mejores recursos de estudio que muchos libros modernos (y ni hablemos de imperfectos y a veces descuidados apuntes). Es la primera versión oficial publicada sobre la teoría de que los planetas giran alrededor del Sol y no de la Tierra. El propio autor relata ahí con modestia los antiguos antecedentes de semejante idea.

Bibliografía general

Física, su enseñanza, autores varios, Buenos Aires: Prociencia, 1987. Curso de perfeccionamiento a distancia, destinado a profesores de física. Incluye una reseña de los conceptos salientes y ejemplos de tratamiento.

"El colegio secundario, para qué y para quién", Cecilia Braslavsky, Buenos Aires: Ciencia Hoy, vol. 3 N° 14, julio de 1991.

Física, Physical Science Study Committee (PSSC), Haber-Schaim, Judson B. Cross, John H. Dodge, James A. Walter, Buenos Aires: Reverté, 1973.

Cálculo numérico y gráfico, Manuel Sadosky, Buenos Aires: Librería del Colegio, 1952. Incluye, con rigor matemático y a la vez con gran claridad expositiva, diversos métodos de resolución de ecuaciones por aproximaciones sucesivas. Algunos de estos algoritmos son los que actualmente emplean las calculadoras de bolsillo; por ejemplo para obtener una raíz cuadrada las calculadoras realizan tres o cuatro veces la operación de actualizar el número de prueba por el procedimiento de reemplazarlo por el promedio entre él mismo y el cociente entre el radicando y el número de prueba.

Historia de la física, Paul F. Schurmann, Buenos Aires: Nova, 1946, 2 tomos. Es una obra muy atractiva, que incluye datos cuidadosamente recopilados por el catedrático uruguayo. Tiene hermosas láminas con antiguos grabados de instrumentos de laboratorio y retratos de personajes. Abundan las referencias personales y familiares sobre los próceres de la física, que ayudan a comprender que existe una relación muy estrecha entre la producción de un individuo y las condiciones que le impone su medio social.

Lecciones de física, Richard Feynman, México: Fondo Educativo Interamericano, 1971. Es una obra destacada por la manera en que presenta los temas, agrupados por ejes integradores que se apartan de los capítulos clásicos. Aunque utiliza el cálculo infinitesimal, sus desarrollos conceptuales tienen una enorme riqueza que se aprecia más allá de las dificultades matemáticas. Hay ediciones bilingües que han servido a muchos estudiantes de

escalón intermedio para el acceso a otras obras en inglés.

Mecánica elemental, Juan Roederer, Buenos Aires: EUDEBA, 1960. Esta es una edición previa que la tradición convirtió en definitiva. Es una de las escasas obras epistemológicamente rigurosas en la definición de magnitudes físicas como fuerza y masa.

Experimentos ingeniosos en física, V. Lange, Moscú: Mir, 1978. Propone ejercicios de imaginación acerca de cómo medir ciertas magnitudes físicas, en la suposición de que se dispone de determinados instrumentos en cada caso. Para responder acertadamente es necesario conocer las leyes y principios físicos que vinculan entre sí a las magnitudes. Por ejemplo: ¿Cómo medir la profundidad de un lago con una probeta y un termómetro? R: Se sumerge la probeta invertida, se mide cuánto disminuyó el volumen del aire atrapado y se obtiene así la presión (y por tanto, la profundidad).

Paradojas y sofismas físicos, V. Lange, Moscú: Mir, 1978. Trata un conjunto ya clásico de problemas oscuros, confusos y espinosos de varias ramas de la física: especies contrarias a la intuición que ponen de relieve la verdadera dificultad de los temas de estudio. (Por ejemplo, muestra que a medida que un satélite pierde altura por el rozamiento con la atmósfera, gana velocidad; ¿por qué decimos, entonces, que se frena?) Incluye dos niveles de respuestas: sugerencias o pistas, y las soluciones completas.

Rompecabezas y paradojas científicos, Christopher Jargocki, Buenos Aires: Biblioteca Científica Salvat, 1984.

También en el estilo de V. Lange y en el de Levy Leblond la obra ofrece problemas cuyas dificultades conceptuales superan ampliamente las que pudieran tener en la operación y el cálculo.

"Tamaño y vida", T.A. McMahon y J.T. Bonner, Labor, Barcelona: Prensa Científica, 1986. Los autores son un ingeniero y un biólogo, y estudian los problemas de escala de tamaño en los fenómenos biológicos, como el mencionado en los antiguos trabajos de Galileo por el cual una ballena no puede, por su tamaño, estar fuera del agua sin que se quiebran sus costillas. Hay interesantes gráficos logarítmicos que muestran muy claramente las relaciones lineales entre diversas potencias enteras y fraccionarias de magnitudes físicas en los seres vivos, por ejemplo la que da la envergadura de las alas en función del peso.

Física recreativa, Jacobo Perelman, Barcelona: Martínez Roca, 1971. Comenta hechos curiosos y experimentos que pueden hacerse con elementos hogareños, con un muy buen nivel conceptual, aunque limite el tratamiento matemático. Por ejemplo, explica el efecto de tensión superficial por el que las bebidas alcohólicas lloran dentro de sus copas, y ofrece imágenes para apreciar en tres dimensiones con la técnica ocular paralela, sin anteojos.

Nuevas Tendencias en la enseñanza de la física, vol. III y IV, UNESCO, 1978 y 1985 respectivamente. La serie de UNESCO de Nuevas tendencias... está dirigida especialmente a los profesores de profesorado y a quienes están interesados en mejorar la enseñanza de la asignatura en el secundario. Se desarrolla en cada tomo un tema central llevado a cabo por proyectos implementados en diversos países. En el tomo III el tema es la interdisciplina, y en el IV la energía.

Innovaciones en la educación en ciencias y tecnología, Vol. I, II y III, UNESCO, 1988 y 1991. La finalidad de esta serie de libros es proporcionar información internacional sobre las innovaciones en materia de educación en ciencia y tecnología en los distintos niveles de formación y en actividades extraescolares. El volumen II trata el tema *En una época de rápidos cambios científicos y tecnológicos: qué enseñar (y cómo hacerlo) en tiempos semejantes*. El volumen III evalúa los diversos aspectos de la educación en ciencia y tecnología.

Problemas didácticos de física, M.A. Ushakov, Moscú: Mir, 1984. Presenta una gran cantidad de problemas electrodinámicos de corriente continua y de alterna. Tiene la particularidad de mostrar los circuitos con sus instrumentos dibujados con muchos detalles realistas, como si fueran fotos de los objetos sobre una mesa de laboratorio; esto facilita a los estudiantes la interpretación futura de más abstractos esquemas funcionales.

Nueva escuela, Ministerio de Cultura y Educación, 1994. Colección de 16 fascículos que incluyen, casi siempre, temas de enseñanza de la física, la química, la matemática, la biología, la geografía y la historia. Los de física son nueve y una introducción: Los cambios curriculares, Artefactos domésticos I y II, Radiactividad e higiene ambiental, Energía nuclear, Los radioisótopos en la industria y la medicina, Atmósfera e industria, Circuitos eléctricos, Métodos numéricos y La física preescolar. Incluyen apreciaciones metodológicas y el tratamiento de ejemplos. Se los distribuye gratuitamente a las escuelas, y el número 18 recopila todos los artículos de física.

Física conceptual, Hewitt P.G., Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana, 1995. El logro más importante de esta obra es el de presentar un acceso a los temas más importantes de la física actual con un uso mínimo de las herramientas matemáticas. Por el contrario, el énfasis está puesto en la explicación de los fenómenos en un estilo informal y humorístico, más que en su rigurosa descripción cuantitativa.

Enseñanza de la física, E. Loedel, Buenos Aires: Kapelusz, 1940. Es una generosa fuente de buenas y útiles ideas para la enseñanza de esta ciencia, y sus propuestas tienen plena vigencia a pesar del medio siglo que ha transcurrido desde su aparición.

¿Enseñar o aprender?, Francesco Tonucci, Buenos Aires: REI, 1994. Con la abreviatura Frato el autor ilustró muy tiernamente otra de sus obras: Con ojos de niño, conocida por la agudeza y

valentía de sus observaciones pedagógicas. En este otro libro más formal y serio, Tonucci muestra cómo la Escuela mantiene todavía en Italia (y quizá también en nuestro país) gran parte de su vetusta función complementaria de la educación que daban a sus niños las familias acomodadas en épocas pretecnológicas, cuando el estudio no era socialmente necesario para toda la población.

Revistas

Enseñanza de las Ciencias. Es una revista de divulgación de experiencias didácticas que publica el ICE de la Universidad Autónoma de Barcelona y de Valencia, Edificio A, 08193, Bellaterra, Barcelona, España.

Revista de Enseñanza de la Física, APFA (Asociación de Profesores de Física de la Argentina), FaMAF, Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba.

Investigación & Ciencia (versión castellana de Scientific American). Trata, en cada número mensual, una docena de artículos de diversas ciencias: sociología, arqueología, astronomía, física, neurología, con gran rigor y en lenguaje agradable y comprensible, apto para los que no son especialistas en el tema. Por ejemplo, en *La formación del sistema solar a partir de planetesimales*, el artículo propone modelos numéricos de una masa de polvo que gira alrededor del Sol hasta que sus partículas se adhieren entre sí en sus choques plásticos, en núcleos de agregación que crecen ("pastorean") hasta robar todo el polvo disponible. Corrido el programa desde diferentes situaciones iniciales (tamaño del polvo, posición y velocidad de las partículas), llamativamente termina siempre en la misma cantidad aproximada de planetas, ¡y a similares distancias del Sol que los reales! El estudio de la mecánica del caos está ahora en sus comienzos; quizá se encuentre alguna vez razón para las sucesiones de radios orbitales estudiadas por Kepler.

The Physics Teacher. Es una publicación de la AAPT (American Association of Physics Teachers). Abunda en temas físicos y conceptuales (no sólo metodológicos y didácticos).

Physics Today. También es de la American Association of Physics Teachers, 5112 Barwyn Road, College Park. MD 20740-4100, USA.

Mundo Científico. (Versión castellana de La Recherche) Revista de divulgación científica de origen francés.

Ciencia hoy. Revista argentina de divulgación científica.

Para finalizar

Las informaciones, conocimientos y enfoques didácticos que acabamos de exponer en esta guía (y que hemos intentado aplicar en los libros) perderán rápidamente actualidad y serán superados por nuevas y más fértiles tendencias. La enseñanza de la física –y hasta la propia existencia de esta disciplina– se

encuentra sujeta a cuestionamientos y cambios cada vez más veloces y sustanciales que trascienden nuestra formación actual.

Invitamos entonces a los docentes que hayan adherido a nuestras propuestas, que reserven siempre un margen para aceptar, por parte de quienes nos sucedan, la corrección de los inevitables errores que estamos cometiendo ahora sin saberlo.

Esta edición de 1.000 ejemplares
se terminó de imprimir en marzo de 1999
en Impresiones Sud América.
Andrés Ferreyra 3767/69, Buenos Aires.